Münster i/W. 1934. No 143 Med Diss.

AUS DEM ZAHNÄRTZLICHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT MÜNSTER
DIREKTOR: PROF. DR. MÜLLER

ORTHODONTIE UND DIE METALLVERGÜTUNG

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer
Hohen medizinischen Fakultät
der
Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster
vorgelegt von

KARL LAUE
Zahnarzt in Bremen

1934
Buchdruckerei Eberh. Ries, Westerstede

Dekan: Prof. Dr. Klinge, Münster
Referent: Prof. Dr. E. Herbst, Bremen
Korreferent: Prof. Dr. Müller, Münster

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster (Westf.)

Meiner lieben Frau und Lebensgefährtin
Erna Laue
in dankbarer Anerkennung ihrer großen
seelischen und aufopfernden Hilfeleistung
bei meinem Studium.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555426_0164

DISPOSITION.

I. Einleitung.

Ueberblick über die Entwicklung der Orthodontie in ihren Hauptperioden von den Anfängen bis zur Verwendung von Federn aus vergütbaren Goldplatin-Legierungen.

II. Ausführung.

A. **Verhalten der Gewebe bei Anwendung von verschiedenen Kräften.**

1. Durch Naturgesetze vorgeschriebene Kräfte.
   a) physiologische Wanderung der Zähne.
   b) Wanderung und Kippung nach Extraktion.
   c) Kauakt.
2. Künstliche Kräfte und Regulierapparate.
   a) Unbiologisch überdosierte Kräfte.
      aa) Rückenresorption bei intermittierenden Kräften.
      bb) Wurzelresorption und knöcherne Verwachsung.
   b) Biologische Kräfte.
      aa) Biologisch dosierte Apparate.
      bb) Schiefe Ebene.
3) Höchstgrenze der orthodontischen Kraft.
4) Biologische Wirkungsgrade und Reizschwelle.

B. **Art der Kräfte sowie Methoden, die im Laufe der Entwicklung der Orthodontie zur Verfügung gestanden haben und heute noch stehen.**

1. Periode der Gesichtsverschönerung (Vorangleperiode bis 1890).
2. Periode der normalen Okklusion. (Klassische Angleperiode) 1890—1910.
3. Wissenschaftliche Periode ab 1910.
   a) Richtung der körperlichen Bewegung (bodily movement).
   b) Biologische Richtung.
   c) Automatische Richtung.

C. **Hochelastische Körper als eigentliche Motoren in der modernen Orthodontie.**

1. Allgemein.
   a) Feder.
   b) Gummizüge.
   c) Ligaturen aus Cordonnetseide.
2. Eignung verschiedener Metalle für die Herstellung von Bogen und Hilfsfedern.
   a) Unechtes Metall.
   b) Wipla.
   c) Palladium/Silber.
   d) Spezialle gierung AuCuPt als Mittel der Wahl.
3. Eigenschaften der Federn und Aenderung dieser Eigenschaften.
   a) Zusammensetzung des Materials (Platinzusatz).
   b) Zustand des Materials (Vergütung).
   c) Dimension und Form der Federn.
   d) Lage des Angriffs- und Befestigungspunktes.
   e) Dosierung entspr. d. biolog. Optimum.

D. **Wesen und Ursache der Vergütung.**

1. Erklärung des Begriffs der Vergütung.
2. Erklärung des Begriffs der Kristalle und Raumgitter.
3. Ursache der Vergütung.
   a) Theorie der intermetallischen Verbindung.
      aa) Die Eigenschaften einer Legierung.
      bb) Eigenschaftsänderung durch Phasenbildung.
         aaa) Aenderung d. elektrischen Leitfähigkeit und der Farbe.
         bbb) Aenderung der Härte und Elastizität.
   b) Theorie der Ausscheidung.
   c) Kaltverformung.
   d) Sonderstellung der AuCu-Legierungen.
4. Vergütungstheorien für bestimmte Metallgruppen.
   a) Stahlhärtung.
   b) Wipla.

E. **Praktische Vergütungsmethoden.**

1. Stahl.
2. Wipla.
3. Palladium/Silber.
4. Gold/Kupfer/Platin.
   a) automatische Vergütung.
   b) künstliche Vergütung.
      aa) alte Methoden (Annealer).
      bb) einfache Methoden (Einbettung und Salzbäder).
      cc) Vergütung im Muffel- und Temperofen.

III. Schlussbetrachtung.

Neuzeitliche Höchstleistungen auf verschiedenen Gebieten der Technik werden nur durch besonders zusammengesetzte und besonders behandelte Metallegierungen ermöglicht.

Orthodontie und die Metallvergütung.

Die Orthodontie oder Gesichtsorthopädie ist eine Wissenschaft, die mit verschiedenen Gebieten der Zahnheilkunde und der allgemeinen Medizin (z. B. Rachitis und Mißbildungen) im Zusammenhang steht, aber auch an andere Gebiete grenzt wie z. B. Mechanik und Metallurgie.

Die Orthodontie dient dazu, Mittel und Wege zu finden, um ein von den Mittelwerten abweichendes Gebiß gleich welcher Aetiologie außer in kosmetischer Hinsicht in der Hauptsache aber in funktioneller Hinsicht möglichst zur Norm zurückzuführen.

Wie jede Wissenschaft hat natürlich auch die Orthodontie eine geschichtliche Entwicklung, bei der man im allgemeinen drei Hauptperioden unterscheiden kann (S a l o m o n).

Die Vorangleperiode verwandte die Quellungskräfte von Holz und Seide, aber auch starke Schraubkräfte und starre Bögen aus meist unedlen Metallen.

Der klassische Angleismus betrachtete zum ersten Male das Gebiß als Ganzes, vereinfachte die Apparate und schuf den fabrikmäßig hergestellten Expansionsbogen, der mit Drahtligaturen und Bändern angewandt wurde, um die federnde Kraft des Bogens auf die Zähne zu übertragen.

Die neueste Periode, die sogenannte „Moderne Schule" ab 1910 spaltete sich in zwei Lager, indem zuerst der Neoangleismus (O p p e n h e i m) durch die körperliche Bewegung, die sogenannte „bodily movement" einen der Hauptfehler des Expansionsbogens nämlich die Kippung zu kompensieren suchte und schließlich die sogenannte „biologische Richtung" begründet von Mershon, die das gleiche Ziel durch feine, kontinuierlich wirkende Hilfsfederchen zu erreichen suchte, die am Hauptbogen befestigt waren und nur mit Druckkräften arbeiteten. Als neueste Art kommt die automatische Regulierung in Betracht (H e r b s t).

Ehe wir nun auf die Vorgänge eingehen, die im Gewebe des Kiefers und an den Zähnen bei Anwendung eines orthodontischen Apparates eintreten, müssen wir untersuchen, wie sich diese Gewebe bei ähnlichen Vorgängen verhalten, die in der Natur vorkommen. Es handelt sich dabei vor allen Dingen um Wanderungen rein physiologischer Art, die während des ganzen Lebens stattfinden und zwar von distal nach mesial. Sie stehen im Zusammenhang mit dem physiologischen Durchbruch der Zähne (G o t t l i e b) und dienen teleologisch gesehen dazu, die Zähne dauernd in Berührung zu halten, auch wenn sich die Kontaktpunkte im Laufe der Jahre durch den Kau- und Knirschakt zu Flächen verbreitert haben.

Die tiefgründigsten Untersuchungen auf diesem Gebiete veröffentlichten S t e i n und W e i n m a n n im Jahre 1925. Sie stellten durch den histologischen Unterschied der Knochenform an der mesialen und distalen Seite der Zähne die Richtung dieser Wan-

derung fest, indem sie im Rücken der Bewegung eine vorläufige Knochenform fanden, die sie „Bündelknochen" nannten und die erst später im Laufe der Zeit zu normalen Lamellenknochen umgewandelt wird. Sie konnten nachweisen, daß bei der physiologischen Wanderung, die sehr langsam vonstatten geht, die Periodontalspalte immer gleich breit bleibt, daß also genau soviel Knochen im Rücken der Bewegung angebaut als vorne resorbiert wurde.

Aehnlich verhält es sich bei einer Bewegungsart, die durch die Höckerstellung beschleunigt, auch von distal nach mesial vor sich geht, nämlich bei der spontanen Schließung von Extraktionslücken, die aber keine rein physiologische Bewegung mehr darstellt und somit zu unserer Aufgabe überleitet: das Verhalten der Zähne bei Regulierapparaten festzustellen.

Die an dieser Stelle auftretende Frage nach dem Verhalten des Periodontalgewebes beim Kauakt ist dahin zu beantworten, daß der Kaudruck zwar normalerweise bis 100 kg beträgt (Black), nach entsprechendem Training bei Artisten sogar bis 400 kg, daß diese Drucke aber in so kurzen Intervallen eintreten, daß praktisch eine totale Anämie nicht auftritt, also auch keine Vitalitätsstörung. Zu dieser genügt aber schon ein kontinuierlicher Druck von 30 bis 60 Gramm vollständig, da dieser über dem Optimum liegt, von welcher Größe weiter unten die Rede sein wird.

Jede orthodontische Maßnahme ist eine zeitweise Ueberbelastung der Zähne. Jede orthodontische Ortsveränderung eines Zahnes ist die Folge einer biologischen Reaktion gegenüber dieser Ueberbelastung; der Zahn weicht aus. (Gottlieb.)

Die ersten Versuche, dies wissenschaftlich zu ergründen, stammen aus dem Jahre 1904 von dem dänischen Forscher Sandstedt. Dieser leider so früh verstorbene Wissenschaftler wies an Hundeversuchen nach, daß auch bei seitlicher Ueberbelastung von Zähnen an der Druckseite eine Resorption des Alveolarknochens stattfindet, und daß der Zugseite entsprechend eine Apposition vorherrsche, d. h. neuer Knochen angebaut würde, was die sogenannte Drucktheorie des französischen Physiologen Flourens aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts bestätigte. Außerdem fand er an der Außenseite der Alveole an der Druckseite auch noch sog. osteophytische Auflagerungen, d. h. Verstärkungen, die die auf der Innenseite erfolgte Resorption ausgleicht.

Diese Arbeit blieb lange unbekannt, bis sie erst 1930 von A. M. Schwarz, Wien, wieder an die Oeffentlichkeit gebracht wurde, nachdem in der Zwischenzeit so z. B. 1911 von Oppenheim und danach Angle verschiedene Ansichten z. T. durch falsche Auslegung histologischer Bilder vorgeherrscht hatten. Nach diesen sollte sich der Knochen auf beiden Seiten lamellenartig aufblättern, dadurch schwächer werden und so eine Verschiebung oder Kippung gestatten, die sog. Transformationstheorie.

Die Drehachse verlegten die Anhänger dieser Theorie an den Apex des betr. Zahnes, während Sandstedt schon früher richtig erkannt hatte, daß diese zwischen Mitte und unterem Drittel der Wurzel zu suchen sei. Später stellte sich heraus, daß es sich bei den Lamellen um die obenbeschriebenen osteophytischen Aufla-

gerungen handelte, die statisch bedingt in diesem Falle senkrecht zur Zahnachse lagen.

In der Vorangleperiode ging man von der Ansicht aus, daß der Widerstand des Knochens durch Gewalt gebrochen werden müßte, dann meinte man durch orthodontische Apparate die Knochen, die man sich elastisch und kompressibel dachte (Kingsley), verbiegen und durch Retentionsapparate solange festhalten zu müssen, bis die innere Spannung durch die geänderte Funktion aufgehoben wäre, welcher Ansicht heute noch Walkhoff zuneigt. Durch obige Versuche aber ist einwandfrei der Beweis erbracht, daß der Knochen fest ist, und daß lediglich an der einen Seite apponiert was an der anderen resorbiert wird. Dabei zeigt sich auch ein gradueller Unterschied zwischen dem Verhalten der Alveoleninnenwand und des Wurzelzementes, das bei übermäßig starken Drucken auch noch resorbiert wird. Wäre dieser Unterschied nicht, d. h. beide Gewebe von gleicher Qualität, so wäre die ganze Ausübung der Orthodontie überhaupt unmöglich.

In neuester Zeit wurden diese Ergebnisse durch Untersuchungen von Gottlieb und Orbán ebenfalls bestätigt, die von anderen Aufgaben ausgingen, nämlich festzustellen, ob Paradentose allein durch Ueberlastung entstehen könnte. Sie fanden durch viele Hunde- und Affenversuche, daß Ueberlastung primär keine Paradentose hervorrufen kann, sondern daß eine Vitalitätsstörung begründet durch Disposition oder besondere Konstitution vorausgehen müsse, um den Effekt der Knochen- und Zahnfleischatrophie mit Lockerung der Zähne zu ergeben. Dasselbe trifft auch auf die Anwendung von Regulierungsapparaten zu, da auch hier wie oben schon angegeben eine Ueberbelastung sattfindet.

Wie spielt sich nun der Vorgang ab bei plötzlicher Einwirkung von künstlichen übermäßig starken Kräften? Zunächst finden wir an der Druckseite Kompression des Periodontalgewebes mit seinen Gefässen und Nerven, das falls eben der Druck „unbiologisch" ist soweit gequetscht wird, daß es abstirbt. (Traumatische Scherung, Breitner.) In diesem Zustand kann das periodontale Gewebe nun nicht den zerstörten Alveolarknochen abbauen, da es die Fähigkeit eingebüßt hat, Osteoklasten zu bilden, sondern die zerquetschten Gewebsteile wirken als Fremdkörper, d. h. es bilden sich Riesenzellen aus den umgebenden noch vitalen Markräumen und greifen diese toten und passiven Gewebe von der Seite und von hinten an und schaffen sie so fort. Klinisch ist dieser Zustand dadurch gekennzeichnet, daß der betr. Zahn trotz stärkster orthodontischer Kräfte nicht von der Stelle zu rücken ist, bis er sich dann plötzlich um ein größeres Stück weiterbewegt, in dem Augenblick nämlich, wo das letzte tote Gewebe vor ihm in der Bewegungsrichtung weggeschafft wurde. Diese Art der Bewegung, die schon Sandstedt intermittierende Resorption nannte, wurde auch als Rückenresorption bezeichnet (Gottlieb), da diese Resorption nicht durch die von den Odontoblasten gebildeten Riesenzellen, sondern wie soeben erläutert vom Rücken aus erfolgt.

Aehnliche Vorgänge entstehen z. B. auch bei Anwendung von Ligaturen, die starke Resorptionen veranlassen, sozusagen über das

Ziel schießen (Gottlieb), worauf dann eine reparatorische Apposition wieder eintritt, um alles ins Gleichgewicht zu bringen.

Nun hat sich herausgestellt, daß der neugebildete Bündelknochen der Resorption einen größeren Widerstand entgegensetzt als alter, verkalkter Knochen, wie ja auch die Weichteile bei einer Regulierung mehr Schwierigkeiten bereiten als die Hartgebilde. Diese setzen durch ihre kompressible Natur dem Druck solange einen Gegendruck wie ein Gummipolster entgegen, bis die Größe der Gefäße und Nerven den neuen Verhältnissen angepaßt ist, d. h. bis auf der einen Seite des Druckes neue Gefäße gebildet werden und auf der anderen Seite ein Teil der alten Gefäße und Nerven degeneriert sind.

Aus diesem Grunde wird bei neuer Aktivierung nicht der neue Alveolarknochen resorbiert, sondern die Zahnwurzel. Dieses Hin und Her durch die intermittierenden Kräfte der Ligaturen wird von den Amerikanern „Jiggling" (Angle) genannt und ist der Hauptbeweis für die Anwendung kontinuierlicher Kräfte.

Bei Anwendung starker Kräfte kann man auch Dauererfolge erzielen, wenn hinterher eine genügende Retention erfolgt, aber die Zähne werden meist zuerst locker und außerdem aus obigen Gründen Teile ihrer Oberfläche resorbiert.

Zwar wird die Resorption an der Zahnwurzel durch Bildung eines Zementoidüberzuges repariert, aus dem später Zement wird, aber die Gefahr liegt darin, daß bei zu großer Kraft, wenn die Neubildung nicht mit der Resorption Schritt halten kann, diese junge Zementschicht durchbrochen und das Dentin, das hauptsächlich bei älteren Individuen nicht sehr widerstandsfähig ist, gefährdet wird, da sich dieses nicht immer restituiert, auch dann nicht, wenn später der Druck nachläßt. Es kommt dann hierbei zu einer knöchernen Verwachsung zwischen Zahn und Knochen, die klinisch wieder dadurch in Erscheinung tritt, daß dieser Zahn kürzer bleibt als die übrigen, nachdem er die physiologische Durchbruchsbewegung, die im Laufe des Lebens kontinuierlich erfolgt, nicht mehr mitmachen kann. (Gottlieb.)

Was die Anwendung einer schiefen Ebene anbetrifft, so verhält sich das Gewebe hierbei durchaus physiologisch und in biologischen Grenzen, da die Drucke in sehr kurzen Intervallen erfolgen ähnlich wie beim Kauakt, und dann auch, weil das Schmerzgefühl den Patienten rechtzeitig vor Ueberdosierung warnt.

Wenn eine Kraft auf einen Zahn so einwirkt, daß das Periodontium an der Druckseite gequetscht wird und abstirbt, so haben wir es mit einer zu großen und die Reizschwelle überschreitenden Kraft zu tun. Damit das Gewebe nun nicht abstirbt, d. h. seine vitale Funktion behält, müssen seine Kapillaren vom Blutstrom durchflossen und es so ernährt werden. Die Außenkraft darf also nicht stärker als der innere kapillare Blutdruck sein. Wir stellen also fest, daß diejenige Kraft nicht schädlich auf das Gewebe wirkt, die so schwach ist, daß sie diesen Blutdruck nicht unterbindet, also die Höchstgrenze der orthodontischen Kraft liegt eben unter der Höhe des kapillaren Blutdrucks.

Aus der Physiologie ist bekannt, daß bei allen Säugetieren ungeachtet ihrer Größe dieser Blutdruck 15—20 m/m Hg/cm² beträgt, das ist ungefähr 20—26 g/cm². (Landois-Rosemann.) Nach

Einrechnung eines Sicherheitsfaktors wegen der verschiedenen Größe und Beschaffenheit der Zahnwurzeln ergibt sich als zulässiger Maximaldruck für den einwurzeligen Zahn bei kippender Bewegung ca. 15—20 g (Schwarz).

Auf Grund obiger Ergebnisse kommt man auf die vier sog. „biologischen Wirkungsgrade" und zwar

1. Die Kraft ist so kurzdauernd und klein, daß keine Reaktion des Periodontiums also auch überhaupt keine Ortsveränderung stattfindet.
2. Die Kraft ist zarter als der kapillare Blutdruck, aber doch so groß, daß kontinuierliche Resorptionstätigkeit auf der Druckseite entsteht, wodurch sich als Endausgang eine anatomische und funktionelle restitutio ad integrum ergibt. An- und Abbau halten sich hier also die Waage.
3. Die Kraft ist mittelstark, sie unterdrückt eben noch den kapillaren Blutdruck, sodaß eine sogenannte Stauungsresorption auf der Druckseite eintritt und die Zahnoberfläche gefährdet wird. Endausgang: restitutio ad integrum und vielleicht Resorption der Zahnoberfläche.
4. Die Kraft ist so stark, daß sie mechanisch das Periodontium zerquetscht und sich Zahn und Alveolarknochen (Scherung) berühren, wodurch die Rückenresorption von den Markräumen aus eintritt. Zum Schluß erfolgt dann hierbei oft Pulpentod und Verwachsung von Zahn und Knochen und außerdem Resorption der Zahnoberfläche. (Schwarz.)

Hieraus folgt, daß der zweite biologische Wirkungsgrad immer noch richtig ist, auch wenn man, was sehr ins Gewicht fällt, die verschiedene Resorptionsbereitschaft des Organismus in Betracht zieht, die je nach der Konstitution und der jeweiligen Disposition des Patienten verschieden ist.

Die vier Wirkungsgrade erinnern auch sehr an das biologische Gesetz von Arndt Schulz, nach welchem sich physikalische Reize bei Anwendung auf den lebenden Organismus verhalten:

> Danach fachen schwache Reize die Lebenstätigkeit an;
> die mittelstarken Reize fördern sie,
> zu starke Reize hemmen die Lebenstätigkeit,
> und die stärksten Reize heben sie auf.

Zwischen den mittelstarken und starken Reizen steht die Reizschwelle, jenseits derer der biologische Nutzeffekt zum pathologischen Mißerfolg wird. (Ottolengui.)

Wenn wir daraufhin mit den obengewonnenen Erkenntnissen die drei geschichtlichen Entwicklungsperioden der Orthodontie noch einmal ansehen, so finden wir, daß bis in die neueste Zeit kaum jemand mit wissenschaftlichen Methoden an das Problem heranging, um sich mit der wirklichen Größe der Kräfte der Apparate und der Gegenkräfte, die sie auslösen, zu beschäftigen.

Hauptsächlich in der Vorangleperiode wandte jeder prominente Zahnarzt seine eigenen Apparate an, die er gefühlsmäßig konstruierte und nach empirischen Gesichtspunkten änderte, ohne sich je über ihre Wirkungsweise durch wissenschaftliche Versuche irgendwo vor-

her Rechenschaft zu geben. So werden riesige Expansionskräfte, die bei der Quellung von Holz und Seide entstehen, angewandt und daneben gewaltige Schrauben sogar kleine Winden und Zahnräder (Carabelli 1842), alles Apparate, die dem 3. und 4. Wirkungsgrad entsprechen. Erst der Genialität eines E. W. Angle blieb es vorbehalten, den chaotischen Zustand der alten Schulen etwas zu sichten und zu ordnen, und zwar unter Gesichtspunkten, die er zuerst, wenn auch verlacht und verhöhnt, auf dem internationalen Aerztekongreß in Washington 1882 vortrug. Vor allen Dingen wurde das Gebiß als Ganzes in den Bereich näherer Betrachtung gezogen. Dabei legte er zwar mehr Gewicht auf die Okklusion als auf Funktion und erfand das Gesetz der „Konstanz der Sechsjahrmolaren", aber es bedeutete doch einen gewaltigen Fortschritt, hauptsächlich als er seinen Expansionsbogen, die Standardmaschine schuf, die es jedem Praktiker ermöglichte, dieses Universalgerät anzuwenden.

Der Expansionsbogen ist ein federnder Drahtbogen, der zuerst aus Neusilber hergestellt und mit Schraubbändern an den Molaren befestigt wurde. Seine Kraft überträgt man durch Drahtligaturen auf die mit Bändern versehenen Zähne. Dieser Apparat spielt auch heute noch mit der sogen. Bakerverankerung und intermaxillären Gummizügen eine große Rolle und zwar hauptsächlich bei Bißverschiebungen bei Anomalien der Klasse II und III (Angle) Distal- und Mesialbiß. Damals beherrschte er aber jahrelang ausschließlich das Feld bis etwa um 1910. Ab dieser Zeit datiert der große wissenschaftliche Aufschwung der Orthodontie, wenn auch mit der gleichzeitigen Trennung in die oben schon kurz beschriebenen zwei Richtungen.

Angle erkannte die Fehler seines Expansionsbogens sehr wohl: Die große Starrheit, die grobe Einwirkung und dann die durch die Ligaturen bedingten häufigen Sitzungen und intermittierenden Krafteinwirkungen beim Nachziehen derselben, außerdem die die Kosmetik nicht beachtende große Apparatur mit Bändern um fast jeden Zahn und hauptsächlich das leichte Kippen der Eckzähne und Praemolaren bei der sog. „anterioren Expansion". Er suchte eine Lösung, fand sie aber seiner einseitigen Begabung entsprechend mehr auf der physikalisch-mechanischen Seite und ließ den Hauptfaktor außer acht, nämlich daß es sich bei einer orthodontischen Regulierung nicht nur um tote Dinge, sondern um lebendes Gewebe handelt, wodurch es, wie Mershon einmal sagte, „nie möglich wäre, trotz der Hebelgesetze und kunstvoller Apparate, Zähne am toten Schädel zu bewegen."

So entstand der Neoangleismus mit Angle und seinen Schülern Oppenheim und Grünberg, der vermeinte, das Kippen der Zähne dadurch wettzumachen, daß eine sog. bodily movement, eine körperliche Bewegung angestrebt wurde. Dies geschah durch Verwendung von zeitweise zwei Bogen, einem hohen und einem tiefen Labialbogen, dann durch Einführung von „Stiftröhrchenbogen" und der „Bandbogen" mit zuerst vertikalen und dann horizontalen Einschnitten an den Bändern der sog. Bracket oder Winkel, in die ein im Profil rechteckiger Bogen hineinpaßte und dort versplintet wurde. Wie in einem Schraubstock festgeklemmt übertrug er so seine Kraft direkt auf die Zähne, die nach keiner Seite ausweichen konnten,

außer in der Richtung des Druckes, und auch das nur in dem Maße, wie der Bogen es vorschrieb.

Mershon und Lourie dagegen, die Vorkämpfer der biologischen Methode, gingen davon aus, daß sie versuchten, durch feinste Druckfederchen ihrer Apparatur den Geweben nur Impulse zu geben, damit sie ähnlich der physiologischen Zahnbewegung reagieren. Mershon sagte dazu 1923: „Die Tatsache, daß orthodontische Apparate Zähne verschieben können, gibt uns noch nicht das Recht, solche Apparate zu benutzen".

Sie stimmten dabei ihre Kräfte auf die naturgegebenen Bedingungen der Biologie und Biomechanik ab.

Ehe wir nun weiter auf Einzelheiten eingehen, muß an dieser Stelle noch eingeschaltet werden, daß man vom praktischen Standpunkt aus gesehen eine durchgreifende Scheidung der orthodontischen Apparate nach ihrem Endzweck machen muß, je nachdem ob eine Regulierung einzelner oder mehrerer Zähne auf dem gleichen Kiefer vorgenommen werden soll: Zahnregulierung: (Orthodontie Herbst) oder ob eine Kieferregulierung (Orthognathie Herbst), d.h. eine Aenderung der Lage der Kiefer zu einander, angestrebt wird. Bei ersterer Aufgabe, die bekanntlich am meisten vorkommt, dürfen nur äußerst schwache Kräfte, wie oben festgestellt wurde, von 16—20 g pro Zahn angewandt werden. Dies ist nur denkbar durch eine Methode, die durch äußerst feine Federchen einen Impuls geben will und die das übrige den physiologischen Kräften der Gewebe überläßt. Diese Hilsfedern greifen nur an einem Punkt an und lösen durch ihren Druck die Reaktion aus, da die Anbringung eines durch Zug arbeitenden Apparates meist auch Verwendung von Bändern und Ligaturen bedingt, obwohl es mechanisch durchaus gleich wäre, ob eine Kraft auf Druck oder auf Zug angewandt würde.

Hieraus ergibt sich auch die vorherrschende Benutzung des Lingualbogens, da die meisten Zahnregulierungen mit einer Dehnung einhergehen, außer in den Fällen von Protraktion (Protrusion) der Schneidezähne, bei denen dann der „Holabo" (Hochlabialbogen) „high labial arch" nach Lourie oder Simon genommen wird, der die in Frage kommenden Zähne auch von labial nach lingual drückt. Bei der Verschiebung der Zähne im gleichen Kiefer wird deshalb wohl der Mershonmethode die Zukunft gehören, während bei der Verschiebung der Kiefer gegeneinander die Apparate von Angle, Baker & Case sog. (A. B. C. Apparat n. Herbst) noch lange ihre Vorherrschaft behaupten werden, wie A. M. Schwarz, sonst entschiedener Fürsprecher der biologischen Methode, des öfteren betont hat. Er stützt sich dabei hauptsächlich auf die Forschungsergebnisse von Breitner, Wien, an Affen, wonach die Verankerung en bloc bei Kieferverschiebungen durch Gelenkveränderung z. B. Distalbiß, Klasse II, garnicht fest genug sein kann, um die nicht zu vermeidenden Zahnverschiebungen auf das praktisch geringste Maß herabzusetzen.

An dieser Stelle muß noch besonders das Retentionsscharnier nach Herbst erwähnt werden, das neuerdings auch von Schwarz, wenn auch mit kleinen Abänderungen, angewandt wird.

Es handelt sich um einen Apparat, der zwichen Ober- und Unterkiefer eingesetzt, ein ganz neues Gelenk darstellt und so bei Stel-

lungsanomalien der Kiefer angewandt, von vorne herein den Unterkiefer wie gewünscht nach vorne oder seitlich verlagert, bis sich durch die neue Funktion ein anderes Kiefergelenk durch Umwandlung der Form des Köpfchens am proc. condyloideus gebildet hat.

Dabei entsteht gleichzeitig eine Verbesserung vieler falscher Stellungen der Zähne, wie ungleichmäßiges Niveau oder falsche Speesche Kurve, ohne jede Anwendung künstlicher Apparaturen allein durch die geänderte Funktion, was neben anderen Vorteilen auch noch besonders gegen den sonst ähnlich wirkenden A. B. C. Apparaten zu buchen ist.

Eine Ueberlastung kommt ebensowenig wie bei der oben erwähnten schiefen Ebene in Frage, und zwar aus denselben Gründen.

Die konservative Richtung, die bei dem Expansionsbogen oder bodily movement bei allen vorkommenden Regulierungen verharrt, braucht meist längere Zeit (bis zu 8 Jahren!), hauptsächlich bestimmt durch die intermittierende Resorption und den später anzulegenden Retentionsapparat und ist auch an ein bestimmtes Höchstalter gebunden, abgesehen von der Kosmetik und der sonstigen Schädigungen durch Verwendung von Bändern und Ligaturen. Natürlich gibt es auch für diese Methoden hervorragende Vertreter mit ebensolchen Erfolgen, (z. B. Oppenheim). Es steht aber ebenso fest, daß bei unsachgemäßer Anwendung mit der Neoanglemethode größerer Schaden angerichtet werden kann als mit der von Mershon und seinen Modifikationen nach Oppler, Korkhaus, Simon und Herbst. Aus den Untersuchungen von Ketsham vom Jahre 1930 an 700 Kindern geht einwandfrei hervor, daß 30 Prozent der nach der bodily movement „Methode" behandelten Personen Wurzelresorptionen zeigten, während nach der alten Anglemethode mit dem Expansionsbogen 9 Prozent und nach Mershon nur 3,3 Prozent. Auch Oppenheim selbst schreibt zu diesen Ergebnissen, daß die Hauptschuld den Operateuren zufalle. Diese Ergebnisse sollten aber deshalb auch unser Augenmerk mehr auf diejenigen Methoden richten, die dem Allgemeinpraktiker gestatten, biologisch richtig dosierte Kräfte anzuwenden, die eben nur durch die kontinuierlich wirkenden Federn zu erreichen sind.

Eine Sonderstellung nimmt die „Automatische Regulierung" ein (Herbst). Es ist dies eine Behandlung mit orthopädischen Apparaten, die die Fähigkeit besitzen, einen normalen Zahnbogen oder eine normale Okklusion herbeizuführen, ohne daß der Zahnarzt gezwungen ist, am Apparat etwas zu ändern oder ihn zu bedienen. (Herbst.)

Was die Orthognathie anbetrifft, so gehört hierher auch das schon erwähnte Herbstsche Scharnier. Für die Regulierung von Zähnen auf dem gleichen Kiefer wurde dieses Verfahren von Herbst in der sogenannten „Münsterschen Methode" ausgearbeitet. Bei dieser werden weder Schlösser noch Fingerfederchen benutzt, sondern als Motor dient allein ein hochelastischer Hauptbogen, der aus vergütbarem „Auroragold" hergestellt wird. Dieser Bogen ist meist wie ein großes „W" gestaltet (Dreikurvenfeder), im Gegensatz zur Einkurvenfeder, der „U"-Feder der Mershon-Methode, (Herbst) und wird auf einem zur Norm veränderten Gipsmodell

so aktiviert, daß die Federkraft darauf im Munde bis zur vollständigen Entspannung die Zahnreihe automatisch in die richtige Stellung bringt, ohne daß eine nachträgliche Aktivierung (Spannung der Feder) nötig wäre.

Betrachtet man die biologische Forderung auf Grund des zweiten Wirkungsgrades (S c h w a r z) nämlich nur stetigwirkende Kräfte und nur höchstens 16—20 g Kraft pro Zahn zu verwenden, so ergibt sich von selbst, daß alle diese Anforderungen auch vom dynamischen Standpunkt aus nur ein hochelastischer Körper erfüllen kann, wie ihn die Federn oder höchstens noch der Gummizug darstellen.

Die motorische Kraft der Gummizüge beträgt nach B e r t r a m z. B. bei „Angle large" bei einer Spannung von 20—25 mm ca. 100—130 g, d. h. bei intermaxillärer Anwendung auf je 6 Zahnelemente umgerechnet ca. 20 g pro Zahn, was durchaus als biologisch aufzufassen ist. Bei diesen Gummizügen läßt sich aber die Kraft nur auf Zug anwenden, wozu die Zähne dann aber mit Bändern und Dornen versehen werden müssen, die aber wieder aus anderen Gründen möglichst vermieden werden sollen. Die Feder ist daher das Mittel der Wahl in der modernen Orthodontie, da sie außerdem auch der letzten Forderung gerecht wird, über Kräfte zu verfügen, die objektiv exakt meßbar sind, und die jederzeit kontrolliert werden können, damit alle Mißerfolge, wenigstens was die Stärke der Kraft anbetrifft, von vornherein ausgeschaltet werden.

Was das Material anbetrifft, so scheiden alle diejenigen Metalle aus, die nicht mundbeständig sind, wie z. B. Neusilber, das A n g l e in der ersten Zeit verwandte. Es bleiben also nur noch Edelmetalle und Wipla, der Kruppsche nicht rostende Stahl, der aber den Edelmetallen sehr ähnlich ist. Wipla in Drahtform wird in der modernen Orthodontie hauptsächlich von S i m o n verwandt. Es ist korrosionsfest, wenn es hochglanz poliert ist, kann aber meist nur in dem harten Zustand, in den es durch die Kaltverarbeitung gelangt ist, gebraucht werden. Dies ist oft sehr schwer, und deshalb hat S i m o n, um Hartlötungen zu vermeiden, die dem Wipla-Stahl nicht zuträglich sind, besondere orthodontische Apparate konstruiert, bei denen sowohl der Hauptbogen als auch die Hilfsfedern aus einem Draht von 0,6 mm Durchmesser gebogen werden, was natürlich dann den Nachteil hat, daß bei einem etwaigen Bruch die ganze Arbeit von vorne wieder angefangen werden muß. Ausnahmsweise sieht er als einzige Verbindung zwischen Bogen und Feder Punktschweißungen vor, wofür komplizierte und teuere Apparate nötig sind oder das Löten mit Tinol, einer Weichlot-Zinnlegierung, die aber nicht mundbeständig ist.

Neuerdings scheint er selbst wieder dem alten Platingoldmaterial zuzuneigen, denn er schreibt wörtlich:

„Noch besser aber wäre das Zurückgreifen auf die vergütbaren Edellegierungen, die in sonstiger Beziehung dem Wipla keineswegs überlegen sind!"

Um zu beweisen, daß sie es tatsächlich doch sind, wird an anderer Stelle ausführlich besprochen.

In den letzten Jahren stieß man auf der Suche nach vollwertigen Ersatzmaterialien für Gold auf die Palladium-Silberlegierun-

gen. Sie kosten etwa die Hälfte vom Gold und sollen bei sorgfältiger Behandlung „Hochglanzpolitur" mundbeständig sein, und versprechen auch für die übrige zahnärztliche Technik viel für die Zukunft, hauptsächlich auch wegen ihrer unauffälligen Farbe. Ueber ihre Bewährung läßt sich aber heute ein abschließendes Urteil noch nicht fällen.

Es bleiben also noch die Federn aus den verschiedenen Goldlegierungen, die noch nach wie vor das Feld beherrschen.

Die Anwendung der Goldlegierungen hauptsächlich des ternären Systems Gold-Silber-Kupfer ist schon seit Jahrtausenden bekannt, wie alte Gräberfunde in Aegypten und Mesopotamien beweisen, dies Gold der Goldschmiede wurde aber nur nach Farbe und Feingehalt unterschieden. In der modernen Zahnheilkunde aber und hauptsächlich in der Orthodontie werden an das Gold andere Anforderungen gestellt, und es ist die Aufgabe der Materialkunde und der Metallographie diesen Anforderungen gerecht zu werden. Schon während des Krieges wurden in Amerika Versuche mit dem Angle bogen aus Gold-Platin angestellt. Diese hochwertigen Edelmetallegierungen hatten trotz der Hartlötung eine gewisse Elastizität und gestatteten den Expansionsbogen, den sog. Schweizerbogen, der aus einer Nickellegierung bestand, von 1,4 auf 0,8 mm im Durchmesser zu reduzieren, was einen großen Fortschritt bedeutete. Auch der Bandbogen der bodily movement Methode hatte nur eine Abmessung von 0,55 mal 0,9 mm, seitdem er aus Edelmetallen hergestellt wurde. In Deutschland wurden erst viel später Versuche gemacht durch die Zeitumstände bedingt, nachdem man vorher dies amerikanische Spezialgold eingeführt hatte. In der ersten Zeit versuchte man die Golde in der Zusammensetzung wie es die Analyse ergab, nachzuahmen, man machte aber bald die Erfahrung, daß für einwandfreie Resultate nicht nur die quantitative Zusammensetzung sondern auch die innere Struktur und deren Veränderlichkeit nach gewissen Behandlungsmethoden maßgebend sei. Nowack in Gemeinschaft mit Tryfus fanden dann in Erwägung der Ansprüche der Orthodontie nach metallurgischen Gesichtspunkten durch Verwendung hierfür besonders konstruierter Prüfungsmaschinen die richtige Legierung für Herstellung der Federdrähte, die durch geeignete Wärmebehandlung oder Vergütung die gewünschten Erfolge brachte. Die Orthodontie stellt in besonderem Maße die größten Anforderungen an das Material aus biologischen sowie kosmetischen Gründen, denn je hochwertiger das Gold der Drähte desto elastischer ist die erzielte Federkraft, aber auch desto kosmetischer ist der Eindruck einer solchen Apparatur. Dazu kommt noch, daß durch Verwendung schwacher kontinuierlich wirkender Federn das Höchstalter der Behandlung ohne Gefahr der Wurzelresorption noch bedeutend hinaufgesetzt werden kann.

Die Größe der Kräfte dieser Höchstfedern, wie sie Mershon als alleinigen Motor anwandte, wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, die z. T. mehr oder weniger beeinflußbar sind.

Zuerst spielt die Zusammensetzung des Materials eine Rolle und hat sich am besten die ternäre Gold-Silber-Kupfer-Verbindung bewährt mit Platinzusatz, z. B. von 8 %, wie die Speziallegierung

„Orthalloy" der Degussa. Durch diesen Platinzusatz werden die großen Kristalle, die im Schliffbild der ternären Legierungen zu erkennen sind, in sehr feines Korn verwandelt, sodaß auf einen Quadratzentimeter anstatt ca. 100 etwa 90 000 platinhaltige Kristalle kommen. Dies bedeutet natürlich eine außerordentliche Steigerung der Bruchfestigkeit, da die Grenzen der Kristalle feinste nicht metallische Verunreinigungen meist Oxyde und Silikate aufweisen, die bei grobem Korn leichter zum Bruch neigen, nachdem die Gesamtmenge hier auf eine kleinere Oberfläche verteilt ist. Eine ähnliche Zusammensetzung weist das Spezialgold Janus der Fa. Wieland auf und Aurora nach Angaben von Herbst.

Als zweiten, zugleich Hauptpunkt, kommt es dann aber auf den Zustand des Materials an, der vom augenblicklichen Bearbeitungsgrad abhängt. Nimmt man z. B. gezogenen Golddraht aus einer bisher üblichen Legierung und glüht ihn stark und schreckt ihn dann ab, so wird er weicher als er war, da die durch die voraufgegangene Kaltverformung entstandene Härte wieder verloren geht. Nimmt man aber vergütbaren Draht, d. h. einen mit bestimmtem Gold-Kupfer-Platin-Gehalt, wird auch er weich, glüht man ihn dann aber bei niedrigerer Temperatur (ca. 400 Grad) längere Zeit nach, so nimmt er wieder seine ursprüngliche Härte an und sogar meistens eine bedeutend größere. Der einfache Golddraht kann aber höchstens durch Kaltverformung wieder hart werden. Der Vorgang des Hart- und Weichmachens kann beliebig oft wiederholt werden, ohne daß die Legierung in ihrer Zusammensetzung eine Aenderung erfährt. Es werden hier also zwei Eigenschaften in einem Material vereinigt, und der heutige Stand der Metallurgie ergibt uns so die Möglichkeit, den Teil der Elastizität und Härte, den die Arbeitsstücke z. B. Bogen und Federn durch Löten und andere Verarbeitungen eingebüßt bezw. ungleichmäßig über ihren Körper verteilt haben, in weitgehendem Maße zu kompensieren und zu homogenisieren.

In welchem Maße dieser Unterschied sich auswirkt, sollen folgende Angaben über die mechanischen Eigenschaften der Federdrähte erläutern. Nehmen wir einen Draht von 0,5 mm Durchmesser aus Orthalloy an, so ergeben sich folgende Daten vor und nach der Vergütung:

Brinellhärte, (berechnet aus der gemessenen Tiefe des Eindrucks einer Stahlkugel in ein Blech, das aus dem betreffenden Material hergestellt wurde), unvergütet 142 kg, vergütet 232 kg mm².

Zerreißfestigkeit unvergütet 70,7 kg, vergütet 98,9 kg.

Dehnung unvergütet 31 %, vergütet 5,2 %.

Elastizitätsgrad (bestimmt durch Abbiegung eines Drahtes von 1 mm Durchmesser um 35 °). Davon bleibt als Dauerbiegung unvergütet 16°, vergütet 5,6°.

Die Dauerbiegezahl erreicht, wenn vergütet, das 4—5fache, bis der Bruch erfolgt.

Aus diesen wenigen Zahlen kann man schon den ungeheuren Nutzen ermessen, der uns bei Benutzung dieser vergütbaren Legierungen zuteil wird.

Die Dimensionen der Drähte spielen insofern auch eine Rolle als die Größe der Elastizität direkt von der Länge und dem gerin-

geren Durchmesser abhängig ist, auch ist die gerade Form die stärkste, d. h. jede Abbiegung oder Verschlingung bedeutet eine Schwächung der Kraft.

Hiermit hängt auch die Lage des Angriffs und Befestigungspunktes der Hilfsfedern zusammen. Mershon selbst, der 1917 seine Apparatur zum ersten Male veröffentlichte, gab die sogenannten Fingerfedern als eigentlichen Kraftmotor an. Diese haben aber den Nachteil, daß sie am freien Ende etwa nur $^1/_{15}$ der Kraft des Kniepunktes produzieren und außerdem haben sie die Tendenz an der fast immer schrägen Zahnwand, gegen die sie drücken sollen, abzugleiten und so wirkungslos zu werden oder zu Falschregulierungen und Verletzungen der Zunge usw. Anlaß zu geben. Aus diesen Gründen werden aufgelötete Dorne „Schutzsporne" angegeben, an denen entlang diese Federn bei Ausübung ihrer Wirkung gleiten. Außerdem besteht noch der Nachteil, daß am Kniepunkt durch die Kraft von ca. 65 g (immer mit Bezug auf einen Draht aus Orthalloy von 0,5 mm Durchmesser) das biologische Optimum überschritten wird, das ist die Kraft, bis zu der mit Sicherheit keine Zahnsubstanz abgebaut wird, sodaß sich hier eine Resorption durch die auftretende Quetschung einstellen müßte.

Um nun allen diesen Folgeerscheinungen von vorneherein zu begegnen, d. h. um die horizontale Sicherheit zu erhöhen, hat Schwarz eine Feder, die sog. Schlingenfeder, angegeben. Diese Feder wirkt nur in einer Ebene und stellt dadurch außerdem auch wohl ein einfaches Mittel dar zur „Verlängerung" oder „Verkürzung" z. B. der Prämolaren, was früher nur durch Aktivierung des Bogens selbst möglich war. Diese Schlingenfeder leistet (aus 0,4 mm Orthalloy) bei 10—16jährigen Kindern im ersten Monat ca. 1 mm, zeigt also durchaus bilologisch angemessene Kraft (Schwarz), die bei 1 mm Aktivierung und 25 mm Gesamtbreite einen gleichmäßigen Druck von überall 20 g ausüben kann (Nowack).

Einem ähnlichen Gedanken entsprang die Feder nach Tryfus, der das freie Ende in einer Oese um den Bogen legte, sodaß sie auf dem Bogen bei Belastung hin und her gleiten kann. An der Lötstelle wurde die Feder dann noch mehrmals um den Bogen geschlungen, wodurch die größtmögliche Festigkeit bei Dauerbeanspruchung erzielt wurde. (Lippert.)

Eine dritte Modifikation zeigt die Fingerfeder mit der Lötstelle in der Höhe des freien Endes, die nur 3—11 g Kraft entfaltet (bei 25 mm Breite und 1 mm Aktivierung, Orthalloy 0,5 mm Durchmesser). Sie würde daher richtig arbeiten, wenn der erste Fehler, das Abrutschen, auch noch verbessert würde. Es müßten dann obige Dorne nach Mershon oder die Befestigung nach Tryfus angewandt werden.

Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet Vergütung eine Veredelung oder Eigenschaftsverbesserung eines Werkstoffes durch eine gewollte, irgendwie geartete Behandlung, ohne daß eine Aenderung der Zusammensetzung eintritt.

Zu dieser Definition ist noch hinzuzufügen, welche Eigenschaft nun besonders verbessert werden soll.

Für die orthodontischen Apparate wird ein Material gewünscht, das bei geringem Gewicht und zierlichen Formen zugleich große Härte und Elastizität aufweist. Außerdem soll es nach Belieben bei der Bearbeitung weich, und wenn die Kräfte aktiviert werden sollen, hart und elastisch gemacht werden können, ohne daß ein Dehnungsverlust eintritt oder die Qualität sonst leidet.

Für andere technische Aufgaben, z. B. Hochhaus und Brückenbau, wird ein zäher Stahl, für Luftschiffe und Flugzeugbau ein Aluminium gewünscht, das leicht und stark zugleich vor allem das Gewicht dieser Maschinen reduziert, um den Aktionsradius zu vergrößern.

Wie wichtig die Frage der Vergütung ist, geht daraus hervor, daß auf der internationalen Tagung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde in Düsseldorf 1929 nur das Thema der Metallvergütung zur Debatte stand, wo auch der inzwischen verstorbene Leiter des Metallurgischen Laboratoriums der Deutschen Gold- und Silber-Scheideanstalt (Degussa) und Privatdozent an der Technischen Hochschule in Karlsruhe, Dr. L. Nowack, das Hauptreferat über die vergütbaren Edelmetall-Legierungen hielt. Diesem Forscher verdanken wir die weitaus meisten Erkenntnisse auf diesem Gebiet und durch seine Initiative gelang es der Degussa, die hochwertigen orthodontischen Legierungen herzustellen, mit denen sie in Deutschland und darüber hinaus führend wurde.

Das erste Metall außer dem Werkzeugstahl, bei dem eine Vergütung im Sinne einer Härtung überhaupt gelang, wurde erst vor etwa 20 Jahren entdeckt, nämlich das Duraluminium, jene Aluminiumkupferlegierung, durch welche sich für den Luftschiff- und Flugzeugbau ungeahnte Perspektiven eröffneten.

Theoretisch betrachtet ist das Ganze ein Problem der physikalischen Chemie und müssen wir uns deshalb mit einigen ihrer Begriffe vertraut machen, durch die wir dann zur genaueren Erklärung der Vorgänge kommen.

Jede Metallegierung besteht ebenso wie auch die reinen Metalle aus kristallinischen Aggregaten, das sind Körper, die aus einem Haufwerk von meist wegen Raummangel unvollkommen ausgebildeten Kristallen bestehen, wie z. B. auch Marmor und Zucker. Diese Kristalle werden aus den Atomen bezw. Molekülen gebildet, deren Massenpunkte im einfachsten Falle nach drei Scharen von aequidistanten Punkten (entspr. den drei Dimensionen des Raumes) und in bestimmten Symmetrieverhältnissen angeordnet sind, weshalb man diese Systeme auch Raumgitter nennt. Diese Raumgitter sind für jede Verbindung oder Legierung besonders charakteristisch und weisen auch besondere mathematisch begrenzte Körperformen auf, wie z. B. Kubus, Oktaeder, Rhombendodekaeder usw.

Es handelt sich bei diesen Gittern um unendlich kleine Größen (Entfernung der Atome von einander in einem Kristall ist z. B. 10^{-8} cm = ein hundertmillionstel cm), die weit außerhalb des Meßbereichs des Mikroskops liegen, also auch nicht im Schliffbild erkannt werden können, und die nur durch die Beugungsspektren der Röntgenstrahlen festzustellen sind. Diese Raumgitter dienten ja deshalb seinerzeit auch zur Messung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen. (v. Laue, Knipping.)

Ueber die Ursache der Vergütung bei Legierungen gibt es nun zwei Haupttheorien.

1. Durch intermetallische Verbindungen (Fränkel, Wassermann),
2. Ausscheidungstheorie (Marica, Tammann).

Legierungen sind in flüssigem Zustande gemischte Metalle, sie bilden sog. Mischkristalle analog den Doppelsalzen, indem nach dem Gesetz der Substitution ein Atom des Hauptmetalls durch ein Atom der Zusatzmetalle ersetzt wird (Rosenhain). Die Folge davon ist eine Aenderung der Kristallgitterform, da die vom Fremdatom ausgehenden Kräfte (ähnlich den chemischen Valenzen) andere sind als die der Muttersubstanz, und zwar bewirkt ein höheres Atomgewicht des Zusatzmetalls eine Erweiterung des Gitterabstandes. Aus diesen Tatsachen lassen sich fast alle Eigenschaften der Legierungen ableiten, wie z. B. Schmelzpunkterniedrigung, Temperaturintervalle beim Schmelzen, veränderte Farbe und elektrische Leitfähigkeit und hauptsächlich Steigerung der Härte und Elastizität durch Vergütung, denn in einem gestörten Kristallgitter werden die Elektronen, die sonst symmetrische Bahnen um die positiven Atomkerne ziehen, durch neue Kräfte beeinflußt. So bestimmen sie z. B., welche Lichtwellenlängen absorbiert oder welche resorbiert werden (ähnlich wie die elektrische Leitfähigkeit) und geben so die Farbe an. Die meisten Metalle sind farblos bis auf Gold und Kupfer. Wenn letztere mit anderen Metallen Legierungen eingehen, entstehen wieder Verzerrungen des Gitters, die Elektronen laufen in anderen Bahnen und z. B. eine neue Farbe entsteht. Diese richtet sich aber nicht nach den Mischungsverhältnissen der Farben. So entfärbt z. B. 10 Prozent Nickel (niedriges Atomgewicht) das Kupfer fast gänzlich, ebenso das Gold (10 Pfg. Nickelmünze, Weißgold). Sobald durch Abschrecken die erhaltene Mischung zur Ruhe gekommen ist, bleiben die gewonnenen Eigenschaften auf der Stufe stehen, auf der sie vor dem Abschrecken waren. Der Zustand wird stabilisiert.

Wird der Gleichgewichtszustand im Gitter immer weiter gestört und z. B. durch längeres Glühen bei hoher Temperatur und weiterem Hinzufügen eines Zusatzmetalls die Sättigungsgrenze (analog gelöster Salze) erreicht, so bedeutet das den höchsten Grad der Spannung und Verzerrung im Gitter. Darüber hinaus entsteht durch Diffusion und Platzwechsel der einzelnen Atome und Moleküle eine sogenannte neue Phase, wobei das Grundmetall wieder eine neue, aber zuerst weniger verzerrte Gitterform annimmt. Dieser Vorgang kann einige Male wiederholt werden und nennt man die entstehenden Mischkristallphasen, die wieder alle verschiedene Eigenschaften aufweisen, Alpha-, Beta-, Gamma-, Delta-Phasen. So kann es geschehen, daß z. B. in der zweiten Phase die Farbe der Legierung wieder ähnlich der Anfangsfarbe der ersten Phase wird. Beim nunmehrigen Altern (auch Vergüten oder Erhitzen auf niedrige Temperaturen) scheidet sich entweder das Zusatzmetall als solches durch Zerfall des Mischkristalls oder eine aus beiden Metallen gebildete intermediäre Kristallart, die intermetallischen Verbindung aus (Kurnakow) bei analog aufgebauten ternären (dreistoffigen) Mischkristallen eine entsprechende Verbindung aus zwei oder drei Metallen (Sterner Rainer) und bewirkt so durch festere Zu-

sammenkoppelung der Moleküle bezw. Atome ein Härterwerden der Legierung.

Nach der zweiten, der Ausscheidungstheorie, nimmt man an, daß z. B. an einem kubischen Mischkristall die Würfelebene eine Gleitebene darstellt, an der die Kristallite, hauptsächlich in flüssigem Zustand, aneinandergleiten. Durch Vergüten, also langsames Erwärmen bei niedriger Temperatur, scheidet eine Kristallart oder Verbindung aus Mischkristallen Nadeln oder Lamellen aus und blockiert und vernagelt hiermit sozusagen die Gleitebenen oder Gitternetzebenen. Diese Nadeln sind aus dem Ueberschuß der gelösten Atome gebildet und durchsetzen die Gleitebenen in bestimmten Winkeln, wodurch die größere Festigkeit, Härte und Elastizität entsteht. Wird nun noch mehr und über 450° (bei Gold) erhitzt, so wird eine größere Bewegungskraft der Atome frei und die Nadeln koagulieren als staubartige, wieder mikroskopisch sichtbare Körner auf den Gleitebenen (Marica und Tammann).

Eine andere Form einer gewissen Härtung, die wie die Ausscheidungstheorie mit der mechanischen Blockierung der Gleitebenen erklärt wird, ist die Kaltverformung. Wird ein Metall kalt bearbeitet, z. B. Draht gezogen oder Blech gewalzt, so werden die Raumgitter deformiert und dabei viele Kristalle zerstört, sodaß an verschiedenen Stellen Verhakungen von Gitterblöcken sowie Verfilzungen von Kristallresten entstehen. Außerdem stellen sich die durch die blockierten Gleitebenen unterteilten Kristalle so durch Drehung ein, daß sie symmetrisch zur Zugrichtung liegen und dadurch eine gewisse Faserstruktur vortäuschen. Diese verformten Kristalle haben Aehnlichkeit mit Mischkristallen, aber die Atomgruppen gehen mehr ineinander über und verteilen sich anders im Raumgitter. Außerdem ist dieser Vorgang nur einmalig, da meist, wenn die Legierung ausgeglüht und abgeschreckt ist, eine Härtung durch Wärmebehandlung nicht eintritt, sondern nur durch nochmalige Kaltverformung.

Für die Orthodontie hat die Gold-Kupferverbindung mit Platinzusatz das größte Interesse, zumal sie einen besonderen bisher noch unbekannten Typus der vergütbaren Legierungen darstellt. Nach dem Zustandsschaubild von Grube entstehen bei einer Erwärmung unter 450° zwei intermetallische Verbindungen nach der Formel CuAu und Cu_3Au. Man nimmt als Ursache für die hier nur teilweise und verschiedene Umwandlung des Mischkristalls in chemische Verbindungen an, daß die Verschiedenheit der Raumgitter zwischen der intermetallischen Verbindung CuAu und dem Mischkristall hier eine besondere Rolle spielt (Nowack). Durch die Verbindung Cu_3Au tritt keine Vergütung ein, wohl weil diese mit dem Mischkristall gleiches Raumgitter hat und nur im Gitterabstand Differenzen zeigt, da bei der Umwandlung hier keine Gefügeänderung auftritt, man nimmt daher an, daß bei der Vergütung nicht nur das Vorhandensein einer zweiten Phase sondern auch der Gittertypus verschieden sein muß. (Nowack.) Auch scheinen hier zwei Phasen nebeneinander vorhanden zu sein, die sogar im Schliffbild in gewissen Zeiträumen als zwei Strukturen übereinandergelagert zu sehen sind. Durch das Vorhandensein zweier Phasen kann man sich also Verbindungen mit beliebig mehr Mischkristallen als intermetallischen Verbindungen oder umgekehrt herstellen, d. h. mit

einem Werkstoff derselben chemischen Verbindung verschiedene mechanische Eigenschaften erreichen, da je mehr die Legierung an Verbindung CuAu enthält desto härter der Werkstoff wird. Aehnliche Umwandlungen gibt es in der Mineralogie und Metallkunde bei Bildung von allotropen Modifikationen, aber diese entstehen spontan, während hier durch Temperaturänderung der Zustand hervorgerufen wird. Bei der CuAu-Verbindung trifft außerdem die übliche Bedingung für Verbindungen nicht zu, nämlich die Anwesenheit eines heterogenen Zustandsfeldes, da CuAu und Cu_3Au immer homogen sind. Die Gründe hierfür sind bis heute noch nicht bekannt. Um das soeben Gewonnene noch einmal zusammenzufassen, so werden beim Anlassen bei der normalen Vergütung intermetallische Verbindungen in der zweiten Phase ausgeschieden, oder auch Nadeln und Lamellen ausgeschieden, bei der Kaltverformung die Kristalle zerstört und ineinandergehakt — immer handelt es sich im Grunde bei der Vergütung und Härtesteigerung um eine Aenderung im Raumgitter und eine irgendwie geartete Blockierung der Gleitebenen, sodaß der Molekularbewegung, die ja auch bei allen festen Körpern stattfindet, Hindernisse in den Weg gestellt werden. Sie genügen um die Bewegungsfreiheit der Atome mit ihren Elektronen innerhalb der Raumgitter zu hemmen, die Kohäsion wird größer, sodaß ihre Beweglichkeit vom gasförmigen über den flüssigen und festen Aggregatzustand hinaus noch mehr eingeschränkt zu sein scheint.

Beim Härten des Stahls wird, nachdem sich vorher durch starkes Erhitzen das sich dort im Karbid Fe_3C befindliche C (Kohlenstoff) durch Diffusion klar gelöst hat, das Werkstück plötzlich abgeschreckt, wodurch die Lösung des Kohlenstoffs erhalten bleibt. Außerdem werden aber auch Zementitnadeln, die sich als Mischkristall gelöst vorfanden auf den Oktaederebenen des Eisenkristalls ausgeschieden und versperren die Gleitebenen, während sie beim langsamen Abkühlen zu Körnchen schrumpfen. Diese zwei Vorgänge verhalten sich analog den Vergütungserscheinungen bei Leicht- und Edelmetallen, nur daß hier dasselbe Ziel auf umgekehrten Wegen erreicht wird.

Dies hängt wohl damit zusammen, daß der Kohlenstoff keine Gitterpunkte hat, wie die Metalle, sondern sich nur in den Lücken des Eisengitters eingeklemmt vorfindet.

Der in die Orthodontie durch Hauptmeyer eingeführte Wipladraht kann in obigem Sinne der Härtesteigerung nicht vergütet werden, sondern nur eine Entspannung durch Erwärmen nach Schweißung und anderen Manipulationen erfahren und zwar aus folgenden Gründen: Das Metall V2a besteht aus 77 % Fe, 8 % Ni, 15 % Cr und etwas C. Nun kommt reines Eisen zwischen 700 und 950 ° in zwei Modifikationen vor, die sich gegenüber C verschieden verhalten. Die sog. Alpha-Modifikation ist bis 900 ° beständig, sie hat aber kein Lösungsvermögen für C. Die andere Gamma-Modifikation bildet mit C bei einer Temperatur über 900 ° eine feste Lösung, einen homogenen Mischkristall, den sogenannten Austenit. Normalerweise entsteht im gewöhnlichen Stahl unter 900 ° eine Entmischung der Austenite, die bei 720 ° zum Zerfall der festen Lösung führt, weil sie nicht korrosionsfest ist, wenn aber Nickel

und Chrom dazukommen, liegt auch in tieferen Temperaturen Austenit vor. Beim Verarbeiten von Wipla muß daher bei 1100 bis 1170° geglüht und rasch abgekühlt werden, wodurch wohl ein homogenes, zähes Gefüge stattfindet aber keine Härtesteigerung. Dieser Prozeß wird auch von Krupp vorgeschrieben um Spannungen beim Kaltverarbeiten auszugleichen. (Schoenbeck u. Krupp-Blatt.) Wenn aber von nur 700° abgeschreckt wird, bilden sich Segregatkarbide, das sind Absonderungen an den Korngrenzen im Austenitischen Gefüge, die die Legierung schwächen und chemisch verändern, aus welchem Grunde Drähte aus Wipla-Metall nicht hart gelötet werden dürfen.

Veredelungs- und Härtungsverfahren waren beim Stahl schon vor über 3000 Iahren bekannt und zwar scheinen zuerst die Hethiter, die später ihre Kunst nach Aegypten einführten, ihr Werkzeug und ihre Waffen gehärtet zu haben. Sie bereiteten Stahl ebenso wie die Inder zur fast gleichen Zeit durch Einsetzen von glühendem Schmiedeeisen, das fast C-frei ist, in ein Härtungsmittel, meist ein Bad von Blut oder Urin das C abgab, da Stahl ca. 1 % C enthalten muß, um genügend hart und elastisch zu sein. Heute wird der Werkzeugstahl entweder durch Entkohlung von Roheisen oder auch durch Aufkohlung von Schmiedeeisen gewonnen. Eine besondere Rolle spielt dann noch das Einsatzverfahren bei größeren Maschinenteilen, z. B. Zahnrädern, die in kohlenstoffhaltigem Material längere Zeit geglüht und dann langsam abgekühlt werden, wodurch der Kohlenstoff aus der Einbettungsmasse in das C-arme Eisen hinüberdiffundiert und zwar nur in die äußere Schicht, während das Werkstück im Innern noch weich bleibt.

Auch die neueste erst vor einiger Zeit von der Firma Degussa und der Fa. Haereus in den Handel gebrachte Palladium-Silberlegierung kann ohne weiteres nicht vergütet werden, wohl aber nach einem besonderen Einsatzverfahren gehärtet werden. Hierbei glüht man das Werkstück in einem besonderen Härtepulver, wodurch aus diesem Stoffe in das Arbeitsstück hineindiffundieren und neue Mischkristalle bilden, oder Ausscheidungen in hochdisperser Form zeitigen.

Das nach dem augenblicklichen Stand unseres Wissens am besten zur Herstellung von Hilfsfedern geeignete Material, die Gold-Platin-Legierung, läßt sich einfach und so exakt vergüten, daß man jeden gewünschten Härte- und Elastizitätsgrad damit erreichen kann. Die hieraus gefertigten Drähte müssen vor jeder Verarbeitung weich gemacht werden, wenn die Fabrik sie nicht bereits so anliefert. Da dies aber meistens nur kalt verarbeitet, d. h. gewalzt oder gezogen geschieht, müssen die Legierungen noch besonders bei Hellrotglut (750—800°) ein bis zwei Minuten geglüht werden und dann von Dunkelrotglut eben vor dem Verschwinden der roten Farbe schnell in Wasser oder Alkohol abgeschreckt werden. Die eigentliche Vergütung geschieht dann erst an den vollständig fertiggestellten Werkstücken, orthodontischen Apparaten, Brücken, Klammern, Platten usw. an denen auch alles gelötet sein muß. Eine Ausnahme macht natürlich das Anbringen von Kautschuk, wie z. B. bei partiellen Prothesen, da die Vergütungstemperatur so hoch ist, daß die den Kautschuk zerstören würde. Der Vulkanisierprozeß

selbst hat keinen Einfluß auf die zum Schluß erreichte Härte des Metallteils.

Die einfachste Methode, die z. B. bei Gußstücken angewandt wird, ist das Erkaltenlassen nach dem Guß in der Form, auch automatische Vergütung genannt. (Oettinger.) Sie soll, wenn in einem besonderen Gußapparat gegossen, der mit Deckel versehen eine verhältnismäßig langsame Abkühlung gewährleiset, eine Härtezunahme von 30—50 % ergeben (Oettinger). Diese Härtung verläuft aber vollständig unkontrollierbar, da die Endhärte hauptsächlich von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängt und diese hier nicht zu beeinflussen ist. (Nowack, Spanner.)

Eine richtige Ueberwachung von Zeit und Temperatur eben durch Uhr und Thermometer ist aber nur möglich bei der sogenannten künstlichen Vergütung (Oettinger) und zwar bei einer optimalen Anlaßtemperatur von 3—400°. Wird diese nicht eingehalten, so wird entweder die Härte nicht erreicht, oder das Arbeitsstück zu hart und zu spröde, d. h. übervergütet. Die genaue Höhe dieser Temperatur ergibt sich aus der jeweiligen Zusammensetzung der betr. Goldlegierung und wird von den Fabriken beim Kauf des Materials mitgeteilt.

In Amerika bediente man sich in der ersten Zeit der sogenannten „Annealer" zum Hart- und Weichmachen der bearbeiteten Stücke. Sie bestanden meist aus Pfannen oder Drahtnetzen aus Kupfer (Hawley und Aderer), die nur den einzigen Zweck hatten, die Hitze der offenen Flamme durch das schnell wärmeleitende Material möglichst gleichmäßig zu verteilen, um keine Stelle des Arbeitsstückes besonders zu erhitzen und so Spannungen und Verbiegungen hervorzurufen. Diese Anordnung, ebenso wie die von Strong, der z. B. direkt durch einen Regulierungsbogen einen elektrischen Strom schickte und diesen so als Widerstand benutzte, genügte den Anforderungen bei weitem nicht, und man ging allgemein dazu über, die Arbeitsstücke entweder in indifferenten Massen, die lange die Wärme festhielten, einzubetten oder besondere Vergütungsöfen zu konstruieren. Die einfachste und billigste Methode verwendet Blechgefässe, die mit Sand, kleinen Stahlkugeln oder Salzen gefüllt werden und in die ein Thermometer zur Kontrolle gesteckt wird. Am besten bewährt hat sich hiervon wohl die Vergütung im Salzbad, in den von der Dedussa und der Fa. Wieland gelieferten Nickelwannen, das meistens aus Chlorkalium und Chlorbarium besteht, bei etwa 150—220° flüssig wird und das Arbeitsstück absolut gleichmäßig durchwärmt.

Für allerkleinste Teile, z. B. einzelne Federchen oder Klammern, genügt die Vergütung in offener Bunsenflamme. Man faßt dabei das Werkstück mit einer nicht Wärme ableitenden Pinzette (z. B. Quarzpinzette nach Oppenheim) und hält es die angegebene Zeit in derjenigen Höhe der Flamme, die man mit Hilfe eines Thermometers als die 400° aufweisende erkannt hat und entfernt das Werkstück immer mehr von der Flamme, damit die Abkühlung auch gleichmäßig vor sich geht.

Die mit Gas oder durch elektrische Widerstände beheizten Muffel- oder Temperöfen ermöglichen eine genaue Temperatur zu erreichen und auch einzuhalten und sind im Innern so konstruiert,

daß durch starke Schamotte oder Asbestauskleidungen keine direkte Verbindung mit den Heizkörpern und der Außentemperatur besteht (z. B. der große Muffelofen der Degussa). Genaue Thermometer lassen bei einigen Apparaten die Temperatur überwachen, während bei anderen, falls die entsprechende Goldlegierung gerade diese Hitze benötigt, Kegel aus reinem Zink (ähnlich den Seegerkegeln in der Keramik) benutzt werden, die bei 419° schmelzen. Noch einen Schritt weiter geht die Fa. Bremer Goldschlägerei, die in letzter Zeit einen Ofen herausbrachte, der elektrisch beheizt automatisch durch ein Relais die Temperatur einhält, wodurch er eine ständige Kontrolle entbehren kann und man lediglich nötig hat nach einer der Legierung entsprechend festgesetzten Zeit den Apparat auszuschalten und die Operation zu beenden.

Auf allen Gebieten der Technik und zu allen Zeiten brachte eine neue Erfindung sogar oft nur die Erfindung einer neuen Behandlungsmethode eines alten schon bekannten Werkstoffes eine solch plötzliche und tiefgreifende Aenderung in der bisherigen Arbeitsweise hervor, daß vollständig neue Industrien darauf aufgebaut werden konnten, die wiederum sehr oft einem ganzen Zeitalter ein neues Gesicht gaben. Man braucht nur an die Erzeugung neuartiger Qualitätsstähle durch besondere Zusammensetzung und Bearbeitung des Rohmaterials zu denken, die es erst ermöglichten, Hochhäuser bis zu den gigantischten Ausmaßen der Wolkenkratzer aufzuführen, oder an die Erfindung des Duraluminiums durch Wilms vor ca. 20 Jahren. Nur mit Hilfe dieses Materials konnten die Konstrukteure Luftschiffe und Flugzeuge bauen von solchem riesigen Aktionsradius, daß sie sogar über die Weltmeere verkehren. Nur durch die Vergütung dieser Aluminiumlegierung wurde soviel am Gewicht der Apparate und Maschinen gespart, bei gleichbleibender Stärke, daß mehr Last, hier handelt es sich hauptsächlich um Brennstoff, mitgeführt werden konnte.

Auf ähnliche Weise gelang es nun auch bei den Goldlegierungen, die schon vor Jahrtausenden verarbeitet wurden, durch geeignete Mischung und Wärmebehandlung, wie oben gezeigt wurde, Regulierungsapparate von jener abgestimmten Härte, Elastizität und zugleich Grazilität zu konstruieren, die uns befähigen, in der modernen Orthodontie mit ihrer Hilfe das zu leisten, was wir zu leisten imstande sind, nämlich durch Hilfsfederchen zarte kontinuierliche Kräfte zu erzeugen, die die Zähne ohne Schaden der Gewebe dorthin bringen, wohin sie ihrer Funktion entsprechend gehören.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. E. Herbst, Bremen, für die Anregung zur vorliegenden Arbeit und für die Ueberlassung des Themas herzlich zu danken.

Auch möchte ich es nicht unterlassen, an dieser Stelle der Firma Degussa, Pforzheim, meinen Dank auszusprechen dafür, daß sie mir viele Schriften und Abhandlungen zur Verfügung stellte.

Literatur-Verzeichnis.

1. **Baetz:** Klammerprüfung in Abhängigkeit von Form und Dimension. D. Zahnärztl. W. Schr. 1931, H2.
2. **Breitner:** Experimentelle Veränderungen der mesiodistalen Beziehung der oberen und unteren Zahnreihe. Zeitschr. f. Stom., 1930, H 2/7.
3. **Buditz-Jörgensen:** Richtlinien für moderne orthodontische Apparate. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 53.
4. **Brockhaus:** Konversationslexikon 1930, 5. Bd., S. 347. Härten von Stahl.
5. **Bertram:** Die Kräfte der orthodontischen Gummiligaturen. Fortschritte d. Orthod., 1931, S. 605.
6. **Choulant:** Ueber elastische Eigenschaften von den in der zahnärztlichen Prothetik verwendeten Legierungen. D. Zahnärztl. W. Schr., 1933, H 49.
7. **Dammer:** Chemische Technologie, Federgold, Härten von Stahl, S. 338 und S. 588.
8. **Feustner:** Weiße vergütbare Edelmetalle. D. Zahnärztl. W. Schr., 1933, H 31.
9. **Glaser:** Untersuchungen über mechanische Eigenschaften gelöteter Apparaturen. Fortschr. d. Orthod. 1932, S. 35 und S. 176.
10. **Guerther:** Vergütung und Veredelung. Zeitschr. f. Metallk. 1930, H 3.
11. **Gottlieb & Orbán:** Veränderungen der Gewebe bei übermäßiger Beanspruchung der Zähne, Verlag Thieme, Leipzig 1931.
12. **Halbach:** Ueber Festigkeitseigenschaften d. nichtrostenden Stahls. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 19.
13. **Hauptmeyer:** Ueber eine einfache Platte aus nichtrostendem Stahl. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 15.
14. **Herbst:** Fehlgriffe in der Orthodontie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde 1927, H 10.
15. **Herbst:** Fehlgriffe in der Orthodontie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde 1929, H 10.
16. **Herbst:** Fehlgriffe in der Orthodontie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde 1930, H 10.
17. **Herbst:** Fehlgriffe in der Orthodontie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde 1932, H 10.
18. **Korkhaus:** Moderne orthodontische Therapie, 1928, S. 191 usw.
19. **Korkhaus:** Grundlagen der orthodontischen Behandlung des bleibenden Gebisses. Scheff, Handbuch Bd. 6, 1931, S. 558 usw.
20. **Krupp:** Druckschrift nichtrostender Stahle.
21. **Lippert:** Das Löten der orthodontischen Apparaturen und die mechanischen Eigenschaften der gelöteten Teile. Zeitschr. f. Zahnärztl. Orthop. 1930, H 2 u. 3.
22. **Lommel:** Lehrbuch der Experimentalphysik. 1929, S. 76 u. 519.
23. **Merz:** Einführung in zahnärztliche Metallographie. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 29. Kristallographische Grundlagen metallischer Werkstoffe.

24. **Merz:** Vergütungsvorgänge bei Dentallegierungen. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 49.

25. **Müller & v. Hoesslin:** Theoretische und klinische Pharmakologie, 1929, S. 20.

26. **Murke:** Vergütbare Zahngoldlegierungen und ihre Verarbeitung. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H 49.

27. **Neuburger:** Technik des Altertums, 1919. S. 49 usw.

28. **Nowack:** Vergütbare Edelmetalle. Zeitschr. f. Metallk. 1930, S. 94.

29. **Nowack:** Verfärbungen von Goldlegierungen im Munde. D. Zahnärztl. W. Schr. 1931. S. 186.

30. **Nowack:** Ueber den Einfluß geringer Beimengungen auf Gefüge und Bearbeitung von Gold und Goldlegierungen. Zeitschr. f. Metallkunde 1927, H 6.

31. **Nowack:** Die mechanischen Kräfte der Fingerfederchen. Fortschr. d. Orthodontie, 1931, S. 69.

32. **Nowack:** Die Materialien der orthodontischen Apparatur insbesondere des Fingerfederchens. Zeitschr. f. zahnärztl. Orthopädie, 1929, H 4.

33. **Nowack:** Die Materialien der orthodontischen Apparatur. Zeitschr. f. zahnärztl. Orthopädie, 1930, H 6.

34. **Nowack & Gross:** Ueber Klammerprüfmethoden. D. Zahnärztl. W. Schr., 1930, H 13.

35. **Nowack & Spanner:** Bemerkungen über Vergütung u. metallogr. Schliffbilder. Zahnärztl. Rundschau, 1930, H 46.

36. **Oettinger:** Beitrag zur Gußplatte. Zahnärztl. Rundschau, 1930, H 39, 40.

37. **Oppenheim:** Ueber Wurzelresorptionen bei orthod. Maßnahmen. Zeitschr. f. Stom. 1929, H 7.

38. **Oppenheim:** Die Krise in der Orthodontie. Zeitschr. für Stom. 1933, H 7, 8, 11, 14, 15.

39. **Philips:** Anpassungsfähigkeit der Fingerfedern. Fortschr. f. Orthod. 1930, S. 67.

40. **Rosenhain:** Physik- und Metallkunde. Zeitschr. f. Metallk. 1930, H 3.

41. **Salomon:** Orthodontische therapeutische Naturgesetze. Zahnärztl. Rundschau. 1930, H 25.

42. **Schaeffner:** Formveränderung von Goldgüssen in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung unter Berücksichtigung der Vergütung. D. Zahnärztl. W. Schr. 1931, H. 21.

43. **Schoenbeck:** Zahrärztl. Metallkunde. Misch. Fortschr. d. Zahnheilkunde, 1931, VII, S. 878.

44. **Schoenbeck:** Materialkunde der Zahnärztlichen Technik, 1922, S. 280. usw.

45. **Schoenbeck:** Zahnärztl. Metallkunde. Misch, Fortschritte der Zahnheilkunde, 1933, IX, S. 866.

46. **Schoenbeck:** Löten von V2A Stahl. D. Zahnärztliche Wochenschrift 1933, H. 27.

47. **Schwarz:** Ein weiterer Beitrag zur Bewegung belasteter Zähne. Zeitschr. für Stom. 1928, H. 1.

48. **Schwarz:** Ein weiterer Beitrag zur Bewegung belasteter Zähne. Zeitschr. für Stom. 1929, H. 6.

49. **Schwarz:** Orthod. Prophylaxe und Frühbehandlung. Zeitschr. f. Stom. 1929, H. 4.

50. **Schwarz:** Ueber orthod. Apparate. Zahnärztl. Rundschau 1930, H. 30/31.

51. **Schwarz:** Ueber die leitenden Ideen der modernen orthod. Therapie. Zeitschr. f. Stom. 1930, H. 7.

52. **Schwarz:** Gewebsänderung bei orthod. Maßnahmen. Fortschr. f. Orthodontie, 1932, H. 1/2.

53. **Schwarz:** Biologische Gesichtspunkte bei Behandlung des Distal-Bisses. Fortschr. f. Orthodontie, 1932, S. 319.

54. **Schwarz:** Gewebsänderungen bei orthod. Maßnahmen. Zeitschr. der Orthodontie, S. 381 u. 540, 1931.

55. **Schwarz:** Der heutige Stand der Orthodontie hinsichtlich Prophylaxe und Frühbehandlung. Scheff Handbuch, 1931 Bd. VI, S. 417 usw.

56. **Schwarz:** Erfahrungen mit dem Herbst'schen Scharnier zur Behandlung des Distalbisses. Zahnärztl. Rundschau 1934, H. 2 u. 3.

57. **Simon:** Ueber einige technische Besonderheiten meiner Wipla-Apparatur. Zahnärztl. Rundschau 1934, H. 36.

58. **Spanner:** Grundlagen der Gußtechnik. Schweiz. Monatschrift f. Zahnheilk. 1933, H. 1.

59. **Spanner:** Amerik. Dentalgoldnormung. D. Zahnärztl. W. Schr. 1933, H. 31.

60. **Stein & Weinmann:** Wandern der Zähne. Zeitschr. f. Stom. 1925, H. 8.

61. **Tamann:** Vorgänge bei der Vergütung. Zeitschr. f. Metallk. 1930, H. 11.

62. **Terjung:** Untersuchung der mechanischen Eigenschaften einer Reihe von Klammergoldlegierungen. D. Zahnärtzl. W. Schr., 1932, H. 5.

63. **Tryfus:** Orthodontische Therapie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde, 1927, H. 9, S. 823.

64. **Tryfus:** Orthodontische Therapie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde, 1930, H. 10, S. 805.

65. **Tryfus:** Orthodontische Therapie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde, 1931, S. 828.

66. **Tryfus:** Orthodontische Therapie. Misch, Fortschr. d. Zahnheilkunde, 1932, S. 737.

67. **Wannenmacher:** Härtungsverfahren durch Wärmebehandlung. Kantorowicz Handbuch d. Zahnheilk., 1930, S. 1026 usw.

68. **Waeber:** Lehrbuch der Chemie, S. 117 usw.

69. **Walter:** Die mechanischen Eigenschaften echter und unechter Hauptbogen und Fingerfedermaterialien der Orthodontik. D. Monatsschr. f. Zahnheilk., 1929, H. 14.

70. **Wassermann:** Frage der molekularen und atomaren festen Lösung einer Metallverbindung im Grundmetall. Zeitschr. f. Metallk., 1930, S. 158.

71. **Ziebes:** Untersuchungen an Lotnähten. D. Monatsschr. f. Zahnheilk. 1931, H. 1.

Lebenslauf.

Am 29. April 1896 wurde ich, Karl Heinrich Laue, als Sohn des Steindruckereibesitzers Heinrich Laue in Bremen geboren. Nach Besuch einer Vorschule verließ ich 1914 das Realgymnasium zu Bremen mit dem Zeugnis der Reife für Prima. Dann lernte ich in einer Buchhandlung, bis ich mich Anfang 1915 als Kriegsfreiwilliger meldete. Am Kriege nahm ich bis zum Schluß als Frontkämpfer teil. In die Heimat zurückgekehrt, ging ich wieder in die Buchhandlung zurück und von dort 1919 zu einer Automobilfabrik, wo ich zuerst in verschiedenen Betriebswerkstätten praktisch tätig war und darauf als technisch-kaufmännischer Angestellter bis zum 1. Oktober 1928. Ab dieser Zeit bereitete ich mich auf das Abiturium vor, das ich als Extraner am 12. März 1929 am Realgymnasium in Bremen bestand. Die ersten drei Semester meines Studiums besuchte ich die Universität in Hamburg bis zum Physikum (gut), ging dann zwei Semester nach Wien und die letzten drei Semester nach Berlin, wo ich am 3. April 1933 die zahnärztliche Approbation, nach einem mit „gut" bestandenen Staatsexamen, erhielt. In der darauf folgenden Zeit arbeitete ich selbständig bei einem Kollegen und ließ mich dann am 1. Juli als Zahnarzt in Bremen nieder.

Ich bin arischer Abkunft, evangelischer Konfession und seit 1921 verheiratet, aus welcher Ehe drei Kinder entsprossen.